

Développement économique et énergie : le prochain demi-siècle

Patrick Criqui

Directeur du Laboratoire d'économie de la production et de l'intégration internationale (LEPII) – à l'université Pierre-MendèsFrance (Grenoble)

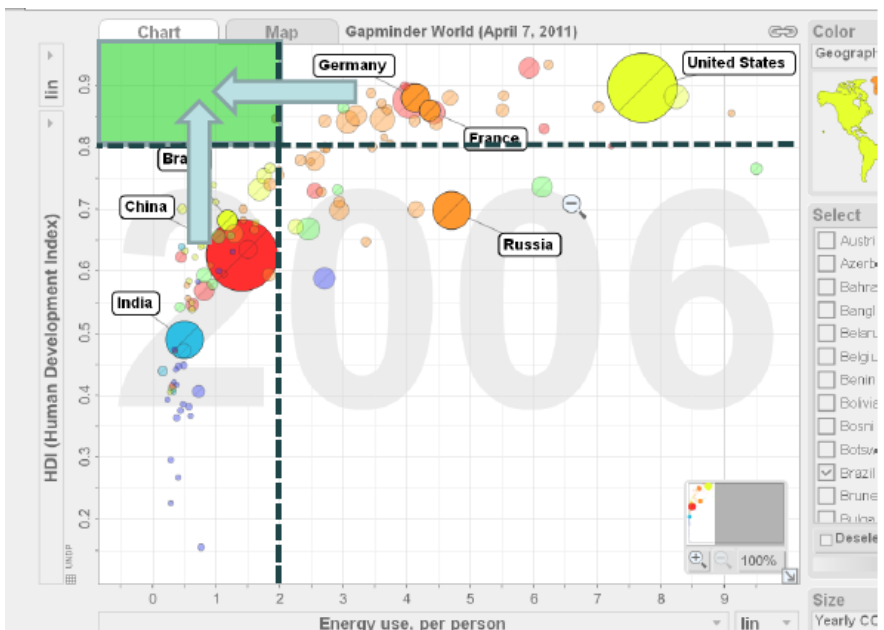
On peut commencer par 30 secondes de géographie. Mon fond d'écran permanent est cette carte du monde, qui représente les « lumières de la terre » (earth lights), où l'on voit très bien la répartition géographique des activités humaines, avec une très forte densité des consommations d'électricité dans les pays développés, mais également en Inde, en Chine de l'est et dans les pays émergents d'Amérique Latine. On voit aussi des zones moins éclairées qui correspondent aux régions les moins développées ou aux régions inhabitées. Ce serait intéressant d'avoir cette carte dans 50 ans : il y aura probablement des changements qu'il serait intéressant de décrypter.

A présent, une minute d'histoire. Je me permets d'utiliser un logiciel que certains d'entre vous connaissent peut-être déjà : il s'agit de Gapminder. Un chercheur suédois, Hans Rosling, a eu l'idée de présenter les statistiques économiques nationales (et au-delà, de santé, d'éducation ou d'environnement), d'une manière extrêmement innovante, parce que dynamique. Notamment, un de ses graphiques les plus éclairants porte sur « les 200 ans qui ont changé le monde » : l'histoire commence au début du 19^{ème} siècle, dans un monde préindustriel dans lequel l'espérance de vie moyenne est inférieure à 40 ans, et le PIB par habitant à 1000 \$. A la fin du XX^{ème} siècle, la conclusion principale est qu'heureusement, les choses se sont beaucoup améliorées du point de vue de l'espérance de vie à la naissance, c'est-à-dire qu'il n'y a plus de pays en dessous de 45 ans, mais il y en a encore trop en dessous de 60 ans (en bleu, les pays Africains ; en Orange, les pays d'Europe ; en rouge les pays d'Asie ; en jaune les pays d'Amérique). La conclusion tirée par Hans Rosling est la suivante : il y a eu des changements majeurs, une nette amélioration des conditions de vie, mais au bout de 200 ans d'accélération de l'histoire, les écarts entre les différents pays du monde en termes de PIB/habitant demeurent très importants.

Développement et énergie : le prochain demi-siècle. Pour faire cette présentation, je vais procéder en 4 temps :

- une introduction reprenant des éléments de positionnement du problème ;
- les drivers (ou forces motrices), et la fameuse équation de Kaya, pour analyser quelles sont les principales variables expliquant la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre dans le monde aujourd'hui ;
- les contraintes, avec deux « problèmes de baignoire ». Un premier que Sylvie JOUSSAUME nous a présenté ce matin, qui est celui de la capacité de stockage limitée de l'atmosphère pour les gaz à effet de serre, et un second problème de baignoire, qui est celui de la raréfaction relative des énergies fossiles ;
- enfin, la question des politiques pour un développement énergétique durable, compte-tenu à la fois des forces motrices et des contraintes.

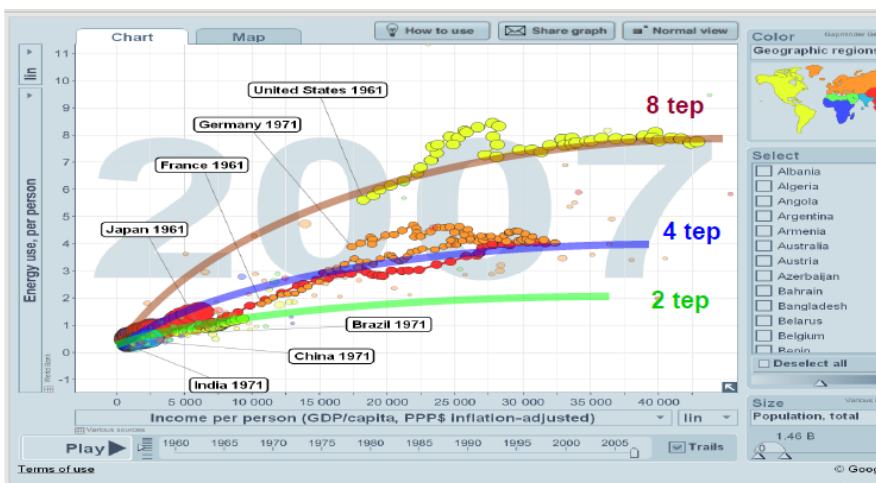
I. Introduction



Je reprends un graphique, fabriqué à nouveau avec Gapminder. Il représente en ordonnée l'indice de développement humain – IDH, qui reprend le PIB/habitant, les taux d'éducation et l'espérance de vie à la naissance – et en abscisse, la consommation d'énergie par personne.

L'idée est de regarder s'il y a une corrélation entre l'IDH et la consommation d'énergie : on note une corrélation mais à partir d'un certain niveau de consommation, l'IDH n'augmente plus que faiblement. Ce qui est frappant, c'est qu'il y a un espace inoccupé : ce carré qui pourrait être précisément le carré (ou plutôt le rectangle) de la soutenabilité : c'est-à-dire un fort IDH accompagné de faibles consommations d'énergie. Il s'agirait pour les pays qui ont aujourd'hui des consommations élevées, de revenir vers des niveaux plus modestes et, pour les pays émergents, de progresser vers l'amélioration de l'IDH sans suivre le même chemin que les pays aujourd'hui industrialisés. C'est un enjeu et j'essaierai d'envisager les différentes voies possibles pour viser cet espace inoccupé.

Les consommations par tête (autre graphique Gapminder) :



pour les USA, on a une consommation de 8 tep/habitant et ce, peu ou prou depuis 1960. Il n'y a pas eu de réel infléchissement depuis. Aux alentours de 4 tep/habitant, on retrouve la majorité des pays Européens, le Japon... Il y a ensuite des pays avec un profil de consommation plus

faible : la plupart des pays en voie de développement dont la Chine ou le Brésil avec environ 2 tep/habitant. Voilà donc le « gap » entre les différentes régions du monde. Il est clair que les stratégies de développement énergétique durable vont devoir se reposer au moins en partie sur une remise en cause de la convergence vers les niveaux les plus élevés.

Sylvie Joussaume nous a montré de manière symbolisant la modélisation climatique avec un globe composé de différentes cellules. Lorsqu'on essaie de faire le même travail en économie, c'est au moins aussi compliqué. On peut dire que finalement, quand on fait de la prospective énergétique, on doit articuler au moins 3 niveaux d'analyse :

- d'abord, au cœur du problème, il y a la question des « styles de développement », c'est-à-dire, selon Ignacy Sachs, un modèle de consommation + un paradigme technologique + une politique d'aménagement du territoire ;
- il faut également regarder tout ce qui renvoie au système économique (est-ce que l'on va vers une globalisation ou une fragmentation des marchés ? quelle est la productivité des facteurs ? quelles sont les dynamiques démographiques ? quelle est la composition de l'épargne, les rentes foncières, les flux de capitaux ?) ;
- Le troisième niveau d'analyse est celui de la gestion des ressources naturelles : quelles sont les ressources naturelles disponibles ? à quel coût ? quelles sont les limites environnementales au niveau global et au niveau local ? etc.

Pour bien faire, il nous faudrait être capable de saisir l'ensemble de ces interactions. C'est ce qu'on essaie de faire quand on développe modèles et scénarios, avec les autres équipes de sciences économiques et de sciences humaines qui s'intéressent aux problèmes de prospective. Ce n'est pas une tâche facile. On peut revenir maintenant vers des choses plus simples : en particulier trouver des constantes et des tendances qui permettent de caractériser le problème.

II. Les forces motrices

Pour ceux qui ne la connaissent pas l'équation de Kaya, du nom d'un chercheur japonais, permet de décomposer les émissions totales de CO2 en 4 variables explicatives ; c'est une mathématique on ne peut plus simple : $CO_2 = CO_2/ENE \times ENE/PIB \times PIB/POP \times POP$

- POP = la population; quand on attaque les problèmes de long terme, il faut suivre les recommandations d'Alfred Sauvy et partir de la démographie.
- PIB/POP = le revenu par habitant, qui permet la prise en compte de la croissance économique.
- ENE/PIB = l'intensité énergétique du PIB (consommation d'énergie primaire par unité de PIB).
- CO2/ENE = l'intensité en CO2 de l'énergie (qui dépend beaucoup des choix techniques de production de l'énergie) ; selon que l'on s'appuie essentiellement sur le renouvelable, le nucléaire, ou les fossiles, on va avoir des contenus en CO2 de l'énergie, complètement différents.

A. *La population*

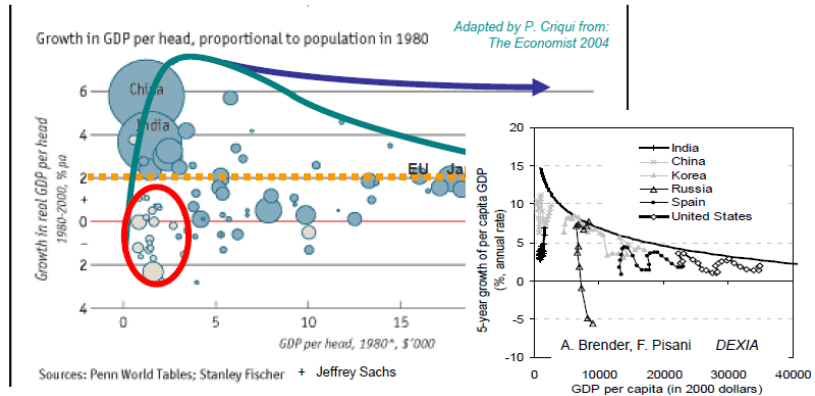
La transition démographique fait que l'on passe de régimes de forte mortalité et de forte natalité à des régimes de faible mortalité et de faible natalité. Mais entretemps, il y a une phase au cours de laquelle la mortalité a beaucoup décliné, alors que la natalité est restée élevée : c'est la période que certains ont qualifié à tort « d'explosion démographique ». Vous voyez que l'on n'est plus dans un schéma d'explosion démographique, mais dans un schéma de transition : forte croissance de la population mondiale entre 1950 et 2050, mais on s'attend à environ 9 milliards d'habitants à l'horizon 2050. Pendant la seconde moitié du siècle les problèmes écologiques vont se poser en des termes tout à fait différents de ceux de la première, ne serait-ce que parce que la croissance de la population sera beaucoup plus faible.

Cela ne veut pas dire qu'il n'y aura plus de problèmes après 2050, mais cela veut dire que beaucoup de choses vont se jouer, et en particulier du point de vue de l'énergie, avant 2050. La fenêtre des 40 ans qui viennent me paraît tout à fait décisive pour la trajectoire énergétique mondiale. C'est dans ces 40 ans qu'il faut réussir le développement énergétique durable : après, cela risque d'être trop tard, en particulier si on a laissé le

CO2 et les gaz à effet de serre s'accumuler en trop grande quantité dans l'atmosphère.

B. La croissance

◆ Convergence in Total Factor Productivity:
the basics of long term economic growth slowdown



Une des meilleures manières d'aborder la question de l'économie à long terme, c'est une représentation des dynamiques décrivant le taux de croissance économique en fonction du niveau du PIB. On voit là apparaître 3 ensembles qui constituent le monde dans lequel on vit :

- les pays industrialisés avec un fort PIB/habitant mais une croissance modeste (environ 2% par an, ce qui correspond finalement au gain de productivité) ; l'augmentation de la productivité est relativement modérée, parce que ce sont les pays les plus en avance ;
- la « trappe à pauvreté mondiale », dans laquelle, jusqu'aux années 2000, on trouvait malheureusement beaucoup de pays Africains : ce sont des pays qui ne sont pas en croissance, mais qui ont même une évolution négative du PIB/hab ; heureusement, des statistiques récentes montrent que certains pays africains ont aujourd'hui une croissance économique forte ; c'est une bonne nouvelle pour ces pays ;
- les pays émergents dont la caractéristique est que le PIB/hab initial est faible, mais qu'ils traversent une phase de très forte

croissance, avant que celle-ci ne ralentisse ; le problème est de savoir si cette croissance va ralentir très doucement ou plus rapidement; ce sera tout à fait décisif pour l'équilibre économique mondial.

Quand on regarde ce que dit le CEPII dans un scénario récent de croissance économique potentielle à 2050, compte tenu de la croissance démographique, de l'investissement, et des gains de productivité attendus dans les différentes régions, on s'aperçoit qu'il y a bien un ralentissement de la croissance mondiale. Avant la crise, on était sur une croissance mondiale de 5% par an (on n'avait jamais eu une croissance aussi forte que cela aussi longtemps). C'était d'ailleurs peut être un peu suspect : on a vu par la suite ce que cette croissance avait d'artificiel, en tous cas dans les pays du Nord aujourd'hui surendettés.

Un PIB mondial de 148 T\$ en 2050 contre 48 T\$ en 2010, mais la croissance mondiale passe en dessous de 2.5%pa

	Average GDP growth (constant 2005 USD)			
	2010-20	2020-30	2030-40	2040-50
United States	2.4	2.0	1.8	1.6
Japan	1.6	1.0	0.3	0.2
European Union (27)+	2.0	1.2	0.9	0.9
Oceania	2.5	1.9	1.8	1.6
Total OECD	2.3	1.6	1.3	1.2
Brazil	3.4	3.0	2.4	1.9
Russia	3.3	2.4	1.8	1.0
India	7.0	6.7	6.0	4.9
China	8.9	7.0	5.0	3.3
Total BRIC	7.2	6.2	4.8	3.5
Rest of Latin America	3.9	3.1	2.4	2.0
North Africa	5.1	5.1	4.5	3.5
Rest of Africa	5.1	5.6	6.3	6.7
Total World	3.3	3.0	2.7	2.4

Source: Jean FOURE, Agnès BENASSY-QUERE & Lionel FONTAGNE (2010), The world economy in 2050: a tentative picture, CEPII Working paper 2010-27

Figure 25 – GDP per capita, 1980-2050 (2005 PPP USD, in % of USA level)

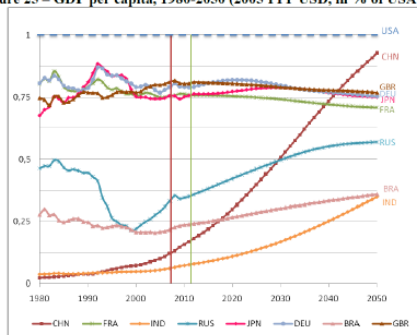
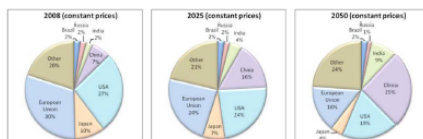


Figure 24 – Shares of the world economy, 2008, 2025 and 2050, (in % of world GDP)

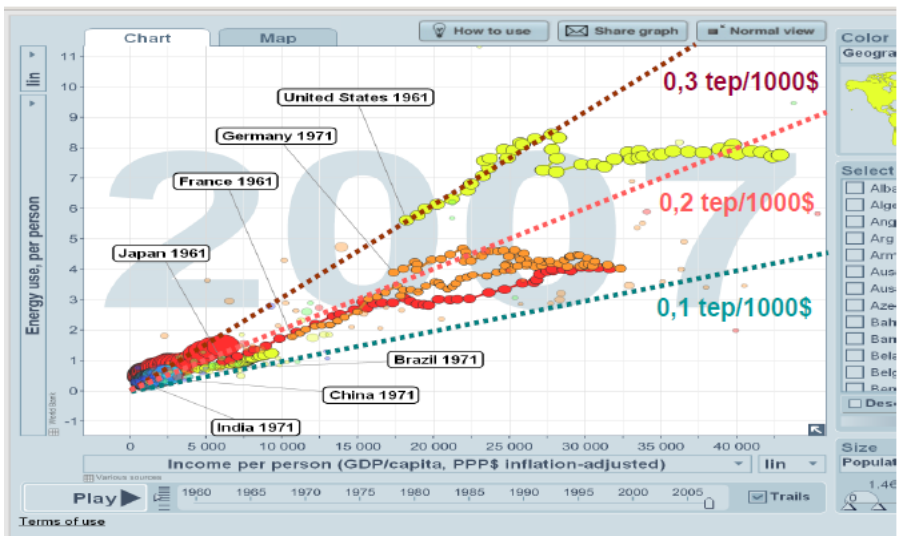


Avant 2050, on devrait arriver à une croissance mondiale plus modeste, du fait précisément des ralentissements progressifs de la croissance dans les pays émergents. Cela donne néanmoins de vrais bouleversements : selon le CEPII, dans ce scénario sans crise prolongée, un chinois moyen serait en 2040 plus riche qu'un européen... Cela rejoint les conclusions d'un prix Nobel d'économie, Robert Fogel, qui avait annoncé que ce rattrapage aurait lieu dès 2030. En tout cas, il faut s'attendre à une restructuration profonde de l'économie mondiale. En gros, la Chine

devrait représenter alors près de 30 % de l'économie mondiale, et l'Europe qui, aujourd'hui, en représente environ 30 %, serait ramenée à 15 %. On est donc en train de vivre ce grand basculement du monde, qui se traduit, au plan politique, dans une nouvelle répartition du pouvoir mondial.

C. L'intensité énergétique

Lorsque l'on représente la consommation d'énergie par habitant en fonction du revenu par habitant, on voit apparaître trois lignes droites : 0,3 tep / 1000\$; 0,2 tep / 1000\$, 0,1 tep / 1000\$.



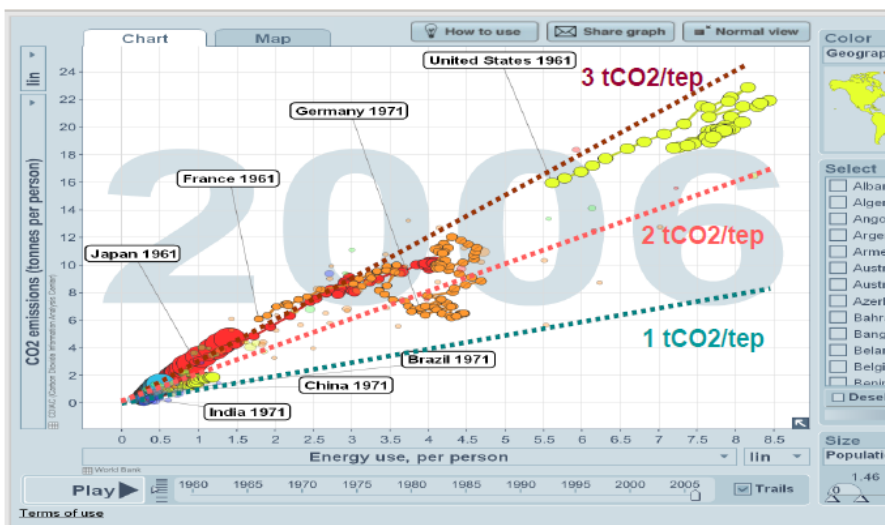
Les Etats-Unis sont sur la trajectoire la plus élevée, mais il y a eu, depuis les chocs pétroliers des années 1970, une forte réduction de l'intensité énergétique du PIB dans tous les pays industrialisés. Vous voyez que les Etats-Unis passent alors de 0,3 à 0,2. De même, les pays européens sont passés de 0,2 à 0,13. De la même manière, les pays en voie de développement sont tout au début du processus, sur des trajectoires comparables.

Les gains d'intensité énergétique sont une mesure de l'efficacité économique globale ; on voit ici dans ce scénario (projection « *baseline* », c'est-à-dire sans contraintes, sans politique climatique, sans crise majeure) que même dans la projection de référence, on a de fortes

réductions de l'intensité énergétique du PIB, ce qui va être important quand on regardera la prospective à 2050.

D. Intensité en CO₂ de la consommation d'énergie primaire

Les pays ont des profils d'intensité carbone très différents : la Chine apparaît avec une intensité carbone supérieure à 3 tonnes de CO₂ / tep, ce qui ne surprendra personne en raison du poids du charbon dans l'économie énergétique chinoise, comme d'ailleurs en Inde. La France apparaît parmi les pays industrialisés, comme celui qui a l'intensité carbone la plus faible en raison notamment du poids du nucléaire dans la production d'électricité.



On a ainsi reconstitué les principales variables structurantes de l'économie énergétique des différents pays. Notre laboratoire a développé depuis maintenant vingt ans un modèle énergétique mondial qui travaille à l'horizon 2050, notamment pour les études prospectives de la Commission européenne, et on le fait tourner pour des scénarios contrastés. Ces scénarios pourraient s'insérer dans les projections mentionnées par Sylvie tout à l'heure. Notre projection sans contrainte climatique (c'est-à-dire sans politique de réduction des gaz à effet de serre), tenant compte à la fois des forces motrices et des contraintes de ressources, aboutit à un doublement de la consommation mondiale d'énergie en 2050, alors même que les projections économiques

correspondant à ce *Baseline*, conduisent plutôt une multiplication par 4 de l'économie mondiale entre 2000 et 2050. Il y a donc même dans le *Baseline*, sans politique contraignante, des résultats très significatifs en matière d'efficacité énergétique : en 2050, on multiplie la population par 1,5 et le PIB par 4, mais on ne multiplie la consommation d'énergie « que » par 2, ce qui est déjà notable.

Baseline Results - World										
	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	Annual % change		
								2000/20	20/30	30/50
Key Indicators										
Population (Millions)	5 246	6 118	6 872	7 585	8 175	8 693	9 246	1.2%	0.8%	0.6%
GDP (\$95)	29 992	49 874	72 998	104 259	138 835	178 070	223 431	3.9%	2.9%	2.4%
Gross Inland Consumption (Mtoe)	5 717	9 955	12 222	14 535	16 732	18 819	20 779	2.1%	1.4%	1.1%
CO2 Emissions (MtCO2)	20 857	23 438	29 942	35 442	40 608	44 672	47 843	2.5%	1.4%	0.8%
Per capita GDP (\$95/cap)	5 717	8 152	10 623	13 745	16 982	20 485	24 166	2.7%	2.1%	1.8%
Gross Inland Cons/GDP (toe/M\$95)	291	200	167	139	121	106	93	-1.7%	-1.4%	-1.3%
Gross Inland Cons/capita (toe/cap)	1.7	1.6	1.8	1.9	2.0	2.2	2.2	0.9%	0.7%	0.5%
Electricity Cons/capita (kWh/cap)	1 830	2 053	2 538	2 960	3 551	4 215	4 860	2.1%	1.8%	1.6%
Transport fuels per capita (toe/cap)	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6%	0.2%	0.2%
CO2 emissions/capita (tCO2/cap)	4.0	3.8	4.4	4.7	5.0	5.1	5.2	1.3%	0.6%	0.2%
% of renewables in Gross Inland Cons	12.9	12.3	11.9	12.8	13.4	15.1	17.1	-0.3%	0.5%	1.2%
% of renewables in electricity	20.1	18.7	18.6	21.6	22.3	24.3	26.8	0.0%	0.3%	0.9%

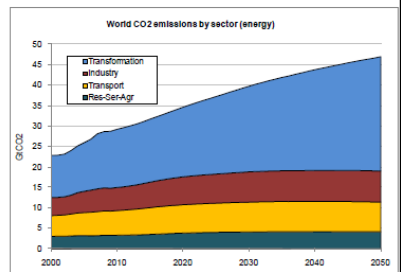
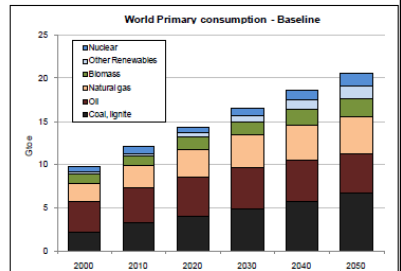
Pour autant, on s'aperçoit que pour faire face à un doublement des consommations mondiales, il faut trouver des sources d'énergie primaire et ce n'est pas évident. En particulier, on prend en compte une certaine limitation de la croissance de la production de pétrole : notre vision n'est pas exactement celle de l'ASPO, c'est-à-dire qu'on ne prévoit pas un pic pétrolier très prononcé. Cela fait longtemps que notre modèle décrit un plateau pétrolier à partir de 2030-2040, aux environs de 100 millions de baril / jour pour le pétrole conventionnel, auxquels il faut ajouter la contribution des non-conventionnels.

Il y a donc une certaine limitation des consommations de pétrole, comme de celles de gaz, même si l'émergence des gaz de schistes change un peu la donne dans ce domaine. En tout cas, dans cette projection de référence, ce qui est tout à fait notable, c'est que malgré les progrès des renouvelables et du nucléaire, on finit par boucler le bilan énergétique mondial avec du charbon ; or, vous savez que le charbon, du point de vue du CO2 par unité d'énergie, c'est la solution la moins favorable. La progression du charbon fait que l'on a une stabilisation du ratio tonnes de CO2 / tep et donc pas de « décarbonisation » du mix énergétique, parce que pétrole et gaz sont bornés. Ainsi, le doublement de la consommation

mondiale de l'énergie se traduit par un doublement des émissions mondiales de CO₂. Du point de vue des émissions de gaz à effet de serre, ce scénario est jugé catastrophique par nos collègues climatologues.

Baseline Secure

- ◆ Dans le Baseline, la réduction de l'intensité énergétique permet de contenir la croissance de la consommation (x 2)
- ◆ Mais pour l'intensité carbone, les progrès du charbon annulent ceux des renouvelables et du nucléaire => 2,25 tCO₂/tep en 2000 et en 2050)



Source: P. Cricqui, Silvana Mima, modèle POLES, projet Secure FP7

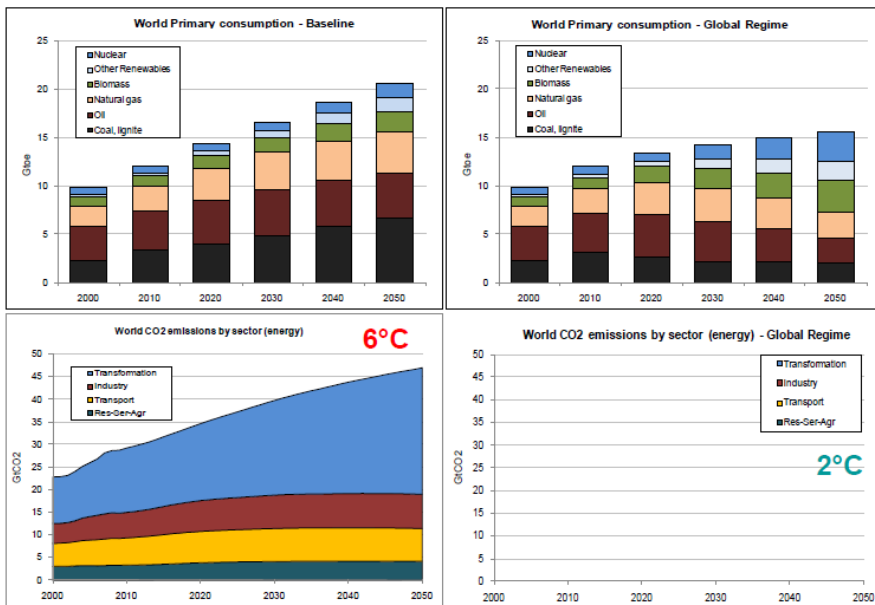
III. Les contraintes

Sur le pétrole et le gaz, il faut regarder les choses au cas par cas : il y a de fortes contraintes sur le pétrole conventionnel. On le sait, on a du mal à retrouver des nouvelles réserves de pétrole, mais on sait aussi qu'il y a des réserves de pétrole non conventionnel, qui sont tout à fait considérables. On a donc des liquides qui deviendront très certainement plus chers, mais qui resteront abondants. Cela se voit quand on regarde les perspectives des sables asphaltiques au Canada : c'est l'essentiel de la progression de l'exploitation du pétrole au Canada. Même chose pour les gaz de schistes aux Etats-Unis, qui pourraient représenter en 2035 la moitié de la production de gaz du pays.

Henry Prévot, présent dans la salle, avait intitulé son livre « Trop de pétrole » ; effectivement : trop d'hydrocarbures non conventionnels, c'est bien possible. Il y a en tout cas suffisamment d'hydrocarbures pour faire déborder la « baignoire du CO₂ ». Ce sont des ressources abondantes mais chères et qui, surtout, ont un coût environnemental local et un coût

environnemental global (CO₂) qui sont énormes. Je reprends ici une phrase remarquable de Claude Henry, un des grands économistes français, dans un article sur le Principe de précaution. Il y définit ce principe comme devant s'appuyer sur « la science, incertaine mais néanmoins fiable ». Cela signifie que ce que dit le GIEC reste entaché d'incertitudes, mais que l'on doit s'y fier pour prendre des décisions : compte-tenu de l'état des savoirs disciplinaires, si nous ne faisons rien nous acceptons de prendre un très gros risque.

Ce que l'on peut en particulier reprendre du quatrième rapport du GIEC, c'est qu'il ya une relation assez directe entre l'augmentation de température à attendre, et le point de passage des émissions en 2050 par rapport à 2000. Si on double les émissions dans le *Baseline* (ce fameux scénario sans contraintes que je vous ai présenté), alors il faut s'attendre à une augmentation de 5 à 6°C à long terme. Inversement le scénario permettant de limiter les risques conduirait à une réduction de 50 % des émissions en 2050, cela afin d'avoir « seulement » 2°C d'augmentation de la température moyenne à long terme. On sait que cela va être extraordinairement difficile.



Les scénarios intermédiaires dans lesquels il y a une action en faveur du climat, mais relativement peu coordonnée donnent des résultats intermédiaires avec des augmentations de température de l'ordre de 4°C. Même si l'on imagine dans certains cas l'Europe vertueuse, et le reste du monde moins vertueux, cela ne changerait pas grand-chose pour les problèmes globaux car l'Europe ne représentera plus qu'une petite partie du système énergétique mondial. Mais l'Europe y gagnerait quand même en termes de moindre vulnérabilité et d'indépendance énergétique. On est ici dans la zone des scénarios les plus probables aujourd'hui, malheureusement. Il y a donc évidemment un grand écart entre ce qui est probable et ce qui est désirable.

Que donnerait justement le scénario souhaitable, celui dont l'objectif est la division par 2 des émissions en 2050 ? On consomme moins d'énergie, c'est-à-dire que la sobriété et l'efficacité énergétique, la maîtrise de la demande, sont un élément essentiel des politiques énergétiques. On voit également qu'il y a dans ce scénario, plus de nucléaire, plus de renouvelables, plus de biomasse. En gros, environ 50 % de la production énergétique mondiale provient de sources non carbonées. Il reste encore pas mal de fossiles : environ la même quantité de fossiles qu'en 2000. Cela signifie donc que si l'on doit diviser par 2 les émissions, il faut faire aussi beaucoup de capture et séquestration, sur la moitié des consommations totales de fossiles.

On a donc bien un portefeuille de solutions et je crois que le défi, pour les politiques du développement énergétique durable, sera d'être capable de mettre en œuvre des politiques économiquement efficaces pour combiner sobriété et efficacité énergétiques, mobilisation des renouvelables, utilisation du nucléaire là où c'est possible, mise en œuvre de la capture et séquestration (s'il s'avère que cela marche au niveau industriel et sans opposition des populations).

IV. Conclusion

Ce sont plus des propos d'étape qu'une conclusion, puisque dans ces domaines, il n'y a pas de conclusion définitive. L'avenir le plus souhaitable n'est pas le plus probable, mais je ne peux m'empêcher de citer ici Michel

Rocard : « l'art du politique, c'est de rendre possible ce qui est souhaitable ». On est vraiment devant ce défi-là.

Le point que je n'aurai pas eu le temps de développer, est celui de la prise en compte des coûts externes des différentes énergies : un projet européen des années 1990 a permis beaucoup de progrès dans la prise en compte des multiples coûts externes des différentes solutions de production d'électricité et je m'étonne que l'on n'en parle pas plus aujourd'hui. Il y avait une véritable communauté scientifique qui s'était constituée, de gens qui ont travaillé dans le temps, qui ont amélioré leurs méthodes. Les résultats sont toujours contestables, toujours incertains, mais comme le dit Claude Henry, « néanmoins fiables ».

Par ailleurs, les politiques de développement énergétique durable devront certainement mettre en œuvre des signaux économiques, comme la taxe carbone (encore un grand débat que je n'aurai pas eu le temps d'aborder ici) ; c'est une condition nécessaire, mais pas suffisante. Il faudra aussi gérer les risques, les controverses, les incertitudes scientifiques, les politiques d'innovation et leur dimension industrielle (il en est question par exemple aujourd'hui pour le photovoltaïque), et enfin l'acceptabilité sociale des nouvelles solutions énergétiques et des changements de comportement associés.

Le menu de l'action est donc très chargé ; plus on pourra se rapprocher du scénario souhaitable, et mieux ce sera pour nos enfants et nos petits-enfants. Notez que les enfants naissant aujourd'hui ont 50% de chances d'être centenaires. On a l'impression que 2050 c'est extrêmement loin, mais c'est une réalité : les enfants d'aujourd'hui vivront pour la plupart l'année 2111. Il faut donc aussi se préoccuper de l'énergie pour au-delà de 2100.